



VARIACION EN LA EVALUACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CILINDROS

Repetibilidad-Reproducibilidad

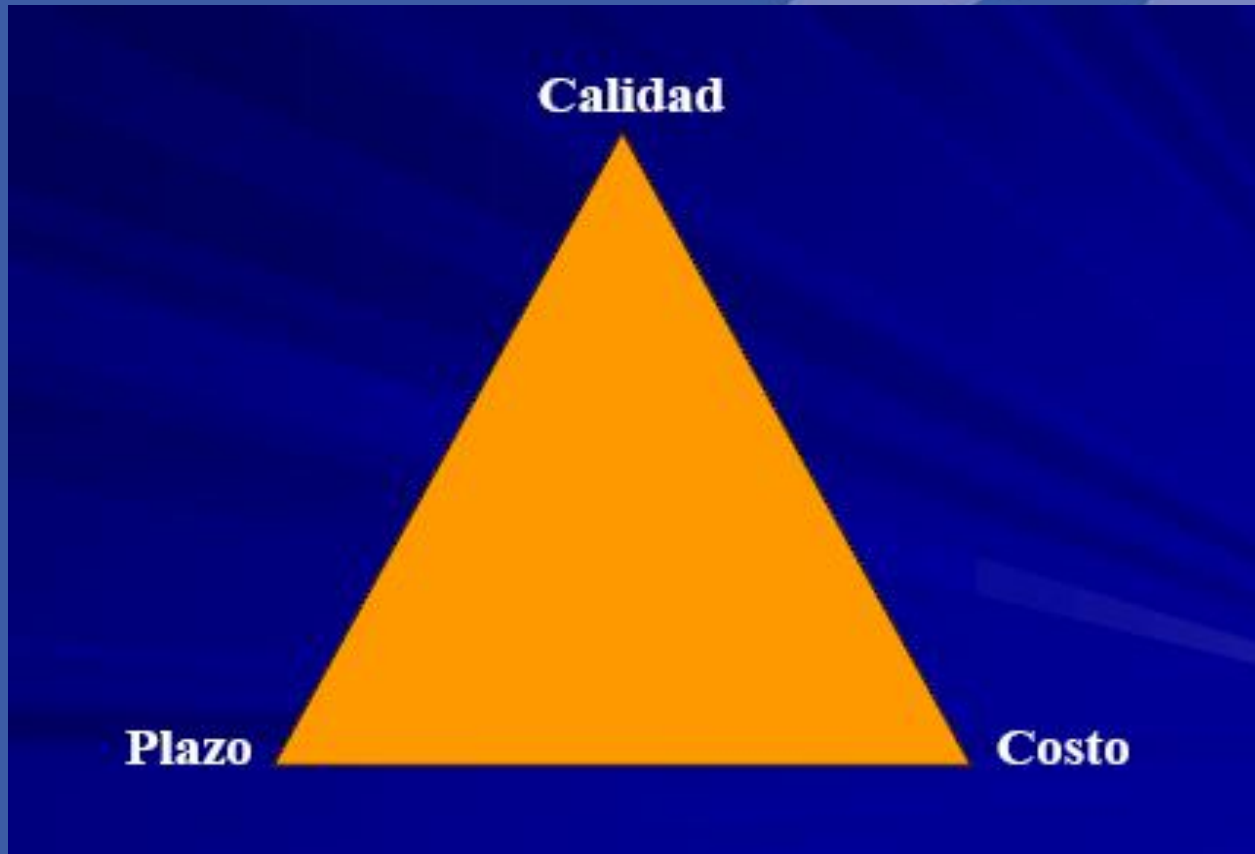
Ing. Rodrigo Quimbay Herrera, MSc.

RodrigoQuimbay@gmail.com

**Comite de Normalización del Concreto
ICONTEC-ASOCRETO 2010**



Aspectos de Gestión en la construcción





PROBLEMAS TIPICOS:

**REPRESENTATIVIDAD DE
PROBETAS (Cilindros, viguetas)**

**BAJA RESISTENCIA DEL
CONCRETO**

**FALTA DE AGILIZACION DE
PROCESOS**

PRESENCIA DE FISURAS

**FALTA DE CONTROL EN TIEMPOS
DE OPERACIONES**

**AFECTACION A VULNERABILIDAD
ESTRUCTURAL**

AFECTACION A LA VIDA UTIL





CAUSAS DE COLAPSO, ref. CEB

Proyecto	42%
Ejecución	29.5%
Materiales	14.5%
Uso	8.3%
Causas naturales	5.7%





Incertidumbres en la construcción

Diseño

Materiales

Procesos constructivos

Concepción del proyecto

Resistencia de los materiales

Acciones en la edificación

Proceso de Calculo y estudios

Características geométricas reales

Disposición adecuada de refuerzos

Procesos constructivos adecuados

Deformaciones excesivas

Fenómenos patológicos

Comportamientos dinámicos



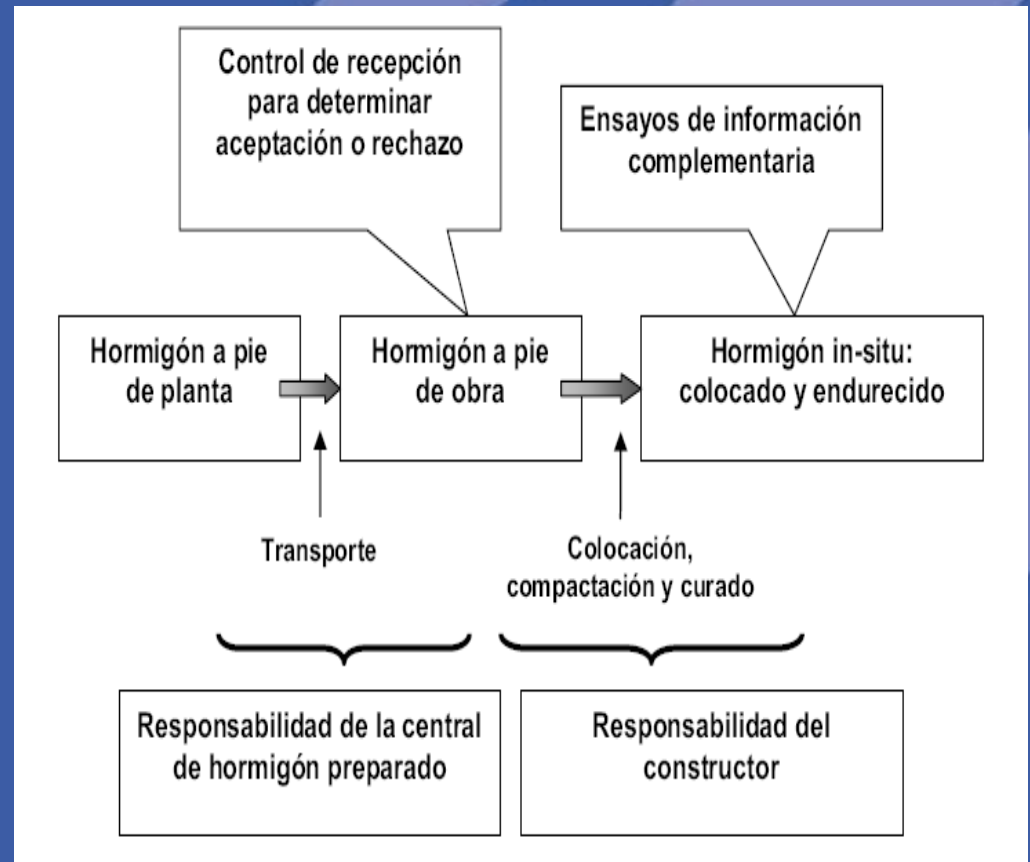
ASPECTOS DE LA VARIABILIDAD EN CONSTRUCCION

- Reproducibilidad y Repetibilidad ensayos
- Secuencia del procesos constructivo
- Curva de aprendizaje de procesos
- Variabilidad en materiales, MO y equipos
- CONSTRUCTIBILIDAD diversa
- Comportamientos estocasticos y dinamicos
- Factores climáticos y económicos
- Factores imprevistos en obra



CALIDAD EN EL CONCRETO,

ref. Instituto Eduardo Torroja





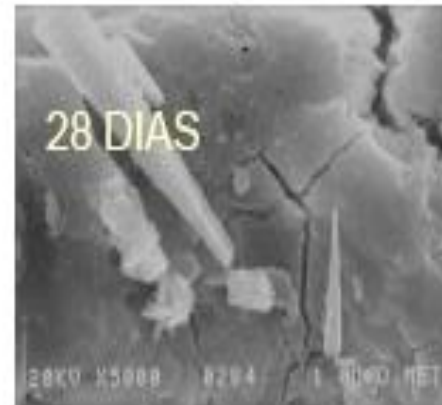
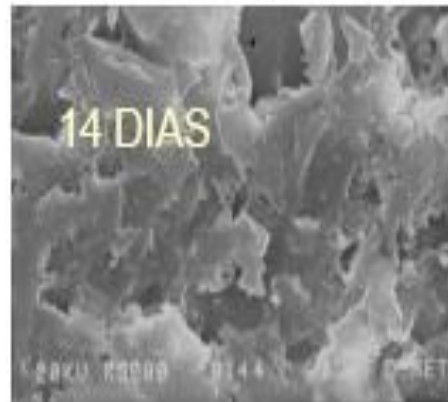
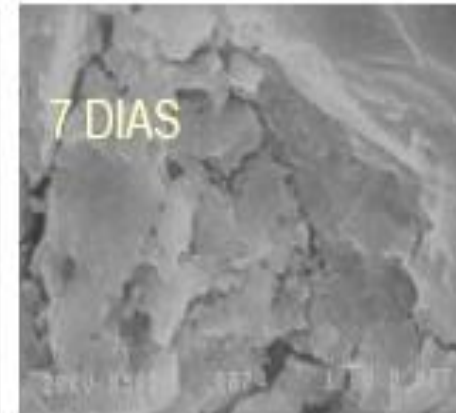
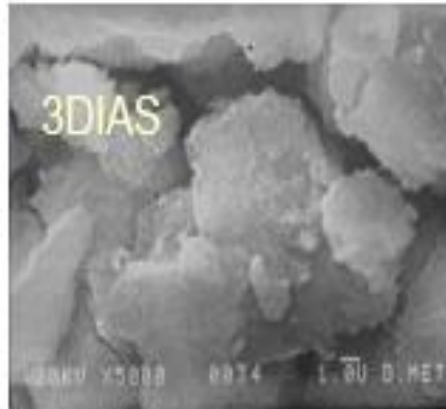
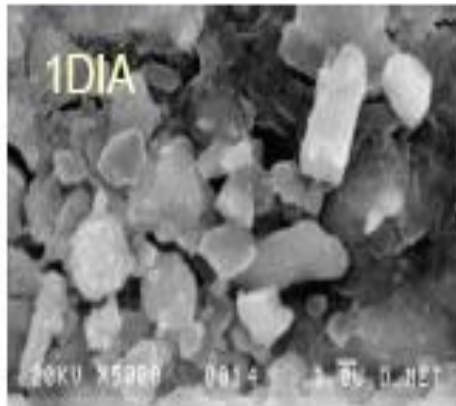
EVALUACION DEL CONCRETO

- **VARIABILIDAD DEL CONCRETO (CVAR %): :**
- Variabilidad de la Materia Prima
- Variabilidad del Proceso de Producción
- Variabilidad de los ensayos de control

$$CVAR = CV(MP) + CV(P_{prod}) + CV(ens)$$



Formación del gel de CSH (Portlandita)





QUE PASA en Colombia?

**EVALUACION DEL CONCRETO DELEGADA
(Laboratorios sin monitoreo comparativo)**

**CONTROL Y VARIABILIDAD CENTRADA EN RESISTENCIA
SOBRE PROBETAS**

INCERTIDUMBRE NO CONTEMPLADA NI EVALUADA

**REPRODUCIBILIDAD DE RESULTADOS DE RESISTENCIA
NO CONTROLADA (Interlaboratorios)**

**VISION CORRECTIVA – PRESCRIPCION DE NORMATIVA
POCO USO DEL CONTROL NO DESTRUCTIVO - NDT**

ALTERACION DE LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO

**ALTA VARIABILIDAD DEL CONCRETO EN EL ELEMENTO
ESTRUCTURAL**



ALGUNAS NORMAS IMPLICADAS CONTROL Y EVALUACION DEL CONCRETO

- NTC 454 Toma de muestras de concreto
- NTC 550 Elab. y curado de especimienes de obra
- NTC 1377 Elab. y curado de especimienes de lab
- NTC 673 Ensayo de cilindros
- NTC 2275 Evaluación estadística
- NTC 3756 Estimacion resistencia in situ (Madurez)
- NTC 3318 Produccion de concreto
- NTC 5551 Durabilidad de concreto (prescriptiva)



CONTEXTO E IMPLICACIONES DEL CONTROL DEL CONCRETO

- Variables en los ensayos destructivos de cilindros, viguetas y nucleos (errores)
- Determinacion de Incertidumbre en ensayos e incidencias
- (R y r) interlaboratorios y variacion en obra
- Referencias NSR Titulo C (Nueva NSR-10)
- Normas NTC implicadas (prescriptivas)
- Nuevos criterios internacionales (desempeño)



FUENTES DE VARIACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO, ACI

Variaciones en las propiedades del concreto	Discrepancias en los metodos de ensayo
<p><i>Cambios en la relacion Agua-cemento</i></p> <p>Pobre control de agua Variacion excesiva de la humedad del agregado Reajustes de la cantidad de agua</p> <p><i>Variaciones en los requerimientos de agua</i></p> <p>Granulometria de los agregados, absorcion y Forma de particulas Propiedades del cemento y de los aditivos Contenido de aire en la mezcla Tiempo de entrega y temperatura de la mezcla</p> <p><i>Variaciones en las cracterísticas y proporcion de los ingredientes</i></p> <p>Agregados grueso y fino Cementos Aditivos</p> <p><i>Variaciones en el transporte, vertido y compactación de la mezcla de concreto</i></p> <p><i>Variaciones en la temperatura y curado del concreto</i></p>	<p><i>Procedimientos inadecuados de muestreo</i></p> <p><i>Variaciones debidas a las tecnicas de fabricacion de las probetas</i></p> <p>Manipulacion y curado de las probetas recién fundidas Mala calidad de los moldes de las probetas</p> <p><i>Cambios en el curado de las probetas</i></p> <p>Variaciones de la temperatura Humedad variable Demoras en la entrega de las probetas al laboratorio</p> <p><i>Procedimietos inadecuados de ensayo de las probetas</i></p> <p>Tipo de refrentado usado Realización de ensayos de compresión</p>



Elaboracion de cilindros en obra NTC 550





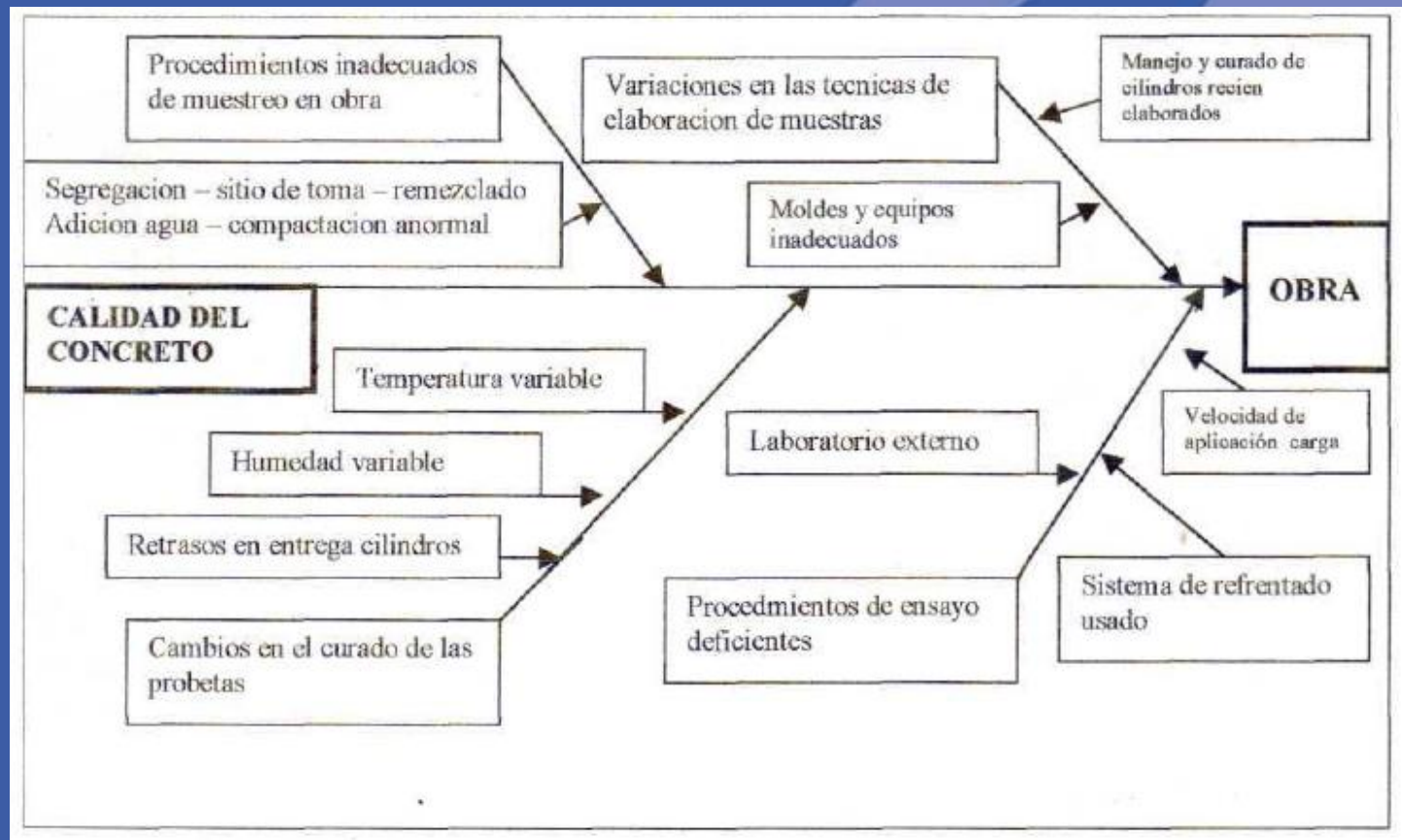
NTC 550

- Curado inicial probetas min 48h (T=16-27 GC)
- Superficie homogenea de cilindros (evitar porosidades)
- Generar un ambiente humedo satisfactorio en el curado inicial
- En cilindros de obra T, H similares a la estructura
- Reproducibilidad = varillado, afinado, capas, T-H
- Probetas CAR Tcurado inicial mayor (20-26 GC)
- Viguetas curado minimo de 20h antes de ensayar
- Viguetas evitar secado superficial rapido-tensiones
- Transporte adecuado Max 4h, cambios en T,H, adecuada amortiguacion



Diagrama Causa-Efecto

Reproducibilidad en el ensayo de resistencia a compresion de cilindros





Eficiencia del ensayo de resistencia de cilindros de concreto

- EFICIENCIA DEL ENSAYO $E = r / R$ (NIST-93)
- Repetibilidad (r)
- Reproducibilidad (R)
- Incertidumbre





Monitoreo de elaboracion de probetas en obra





Adecuada toma y curado de probetas en obra





Errores en el curado de probetas destructivas, NTC 550





Influencia del transporte de probetas, NTC 550





Adecuada toma de muestras en laboratorio, NTC 1377





Importancia de la certificación de ensayos, ISO

Aprobación del laboratorio de ensayos





Eficiencia del ensayo de resistencia de cilindros de concreto

- EFICIENCIA DEL ENSAYO $E = r / R$ (NIST-93)
- Repetibilidad (r)
- Reproducibilidad (R)
- Incertidumbre





COMPARACION DE DIFERENCIAS ENTRE RESULTADOS (Reproducibilidad)

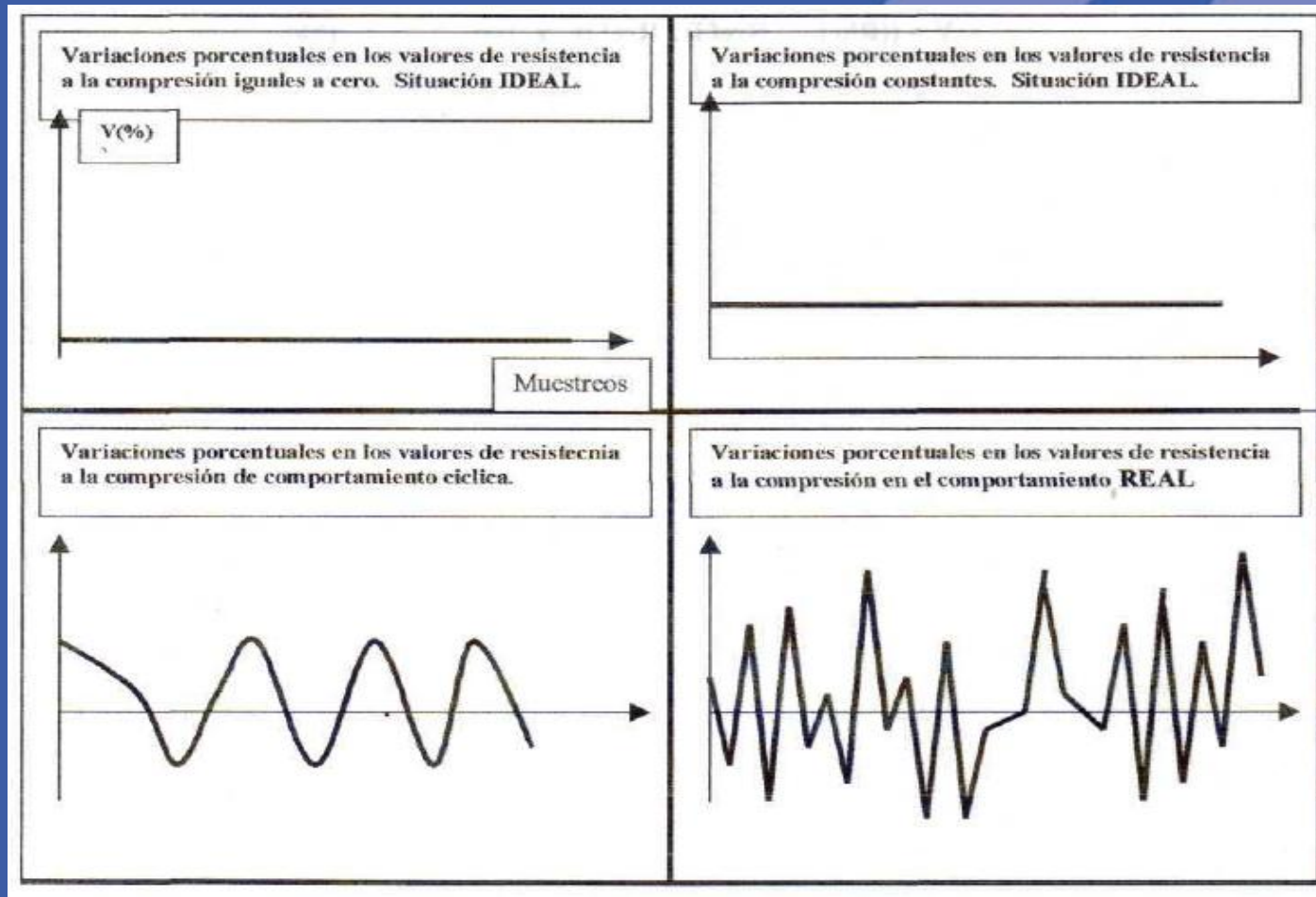
- **Variabilidad** $V (\%) = (R_{ci} - R_{cref}) / R_{cref}$
- R_{ci} : Resistencia del concreto en cilindros Lab. en estudio
- R_{cref} : Resistencia del concreto en cilindros lab de re.ferencia





Opciones de variabilidad $V(\%)$

Perfiles de comparacion de resultados de resistencia del concreto





Revisión de equipos, procesos y competencias del laboratorio





Ensayo de resistencia a la compresion de cilindros de concreto NTC 673

- Correcta ejecucion – representatividad del control
- Adecuada informacion y toma de decisiones en obra
- Variables del ensayo dinamicas y cambiantes





Ensayo de resistencia a la compresion de cilindros normales de concreto NTC 673

6. ESPECÍMENES

6.1 Los especímenes no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2 %

Nota 7. Esto puede ocurrir cuando los moldes desechables se dañan o se deforman durante el moldeo, transporte, o cuando el taladro de núcleos se deflecta o cambia de dirección durante la perforación.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h ó 2,1%
3 d	2 h ó 2,8%
7 d	6 h ó 3,6%
28 d	20 h ó 3,0 %
90 d	2 d ó 2,2%



Velocidad de aplicación de carga, NTC 673

7.5 VELOCIDAD DE CARGA

Se aplica la carga continuamente y sin impactos.

7.5.1 Para máquinas de ensayo de tipo tornillo, la cabeza debe moverse a una velocidad de aproximadamente 1,3 mm/min cuando la máquina avanza en vacío. Para máquinas operadas hidráulicamente, la carga se aplica a una velocidad (medición del plato a la cruceta) correspondiente a una velocidad de carga sobre el espécimen dentro del intervalo de 0,14 MPa/s a 0,34 MPa/s. La velocidad escogida se mantiene al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista del ciclo de ensayo.

7.5.2 Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista se permite una velocidad de carga superior.

7.5.3 No se debe hacer ajustes en la velocidad de la placa en ningún momento mientras un espécimen se está deformando rápidamente inmediatamente antes de la falla.

7.6 Se aplica la carga hasta que el espécimen falle, y se registra la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Se anota el tipo de falla y la apariencia del concreto.



Eficiencia del ensayo de resistencia de cilindros de concreto

- EFICIENCIA DEL ENSAYO $E = r / R$ (NIST-93)
- Repetibilidad (r)
- Reproducibilidad (R)
- Incertidumbre





ESTUDIOS INTERLABORATORIOS

(Un mismo tipo de concreto-diferentes obras y laboratorios - Reproducibilidad.)

TESIS DE MAESTRIA: “Metodología de Evaluación del control de calidad del concreto mediante cilindros”,
U. Andes, 1999

PROYECTO	Toma No.	CITEC R3	Lab. obra R3	Dif. (%) $\nabla(\%)$	CITEC R7	Lab. Obra R7	Dif. (%) $\nabla(\%)$	CITEC R28	Lab. Obra R28	Dif. (%) $\nabla(\%)$
Parque Central Salitre	1	134.69	179.27	33.10	189.13	253.8	34.19	265.88	312.3	17.46
Parque Central Salitre	2	124	102.86	-17.05	168.8	148.27	-12.16	261.76	212.44	-18.84
Hotel Holiday Inn	3	110.28	109.57	-0.64	176.35	162	-8.14	241.2	249	3.23
Serranilla	4	168.09	144.47	-14.05	202.79	195	-3.84	289.17	277	-4.21
Almenares	5	159.82	102.86	-35.64	212.42	152.7	-28.11	291.92	227.64	-22.02
Serranilla	6	159.1	204.88	28.77	260.39	285.5	9.64	346.74	346	-0.21
Imp. Nal de Colombia	7	117.86	119.63	1.50	176.13	275.45	56.39	275.47	363.09	31.81
Imp. Nal de Colombia	8	110.75	105.77	-4.50	179.86	150.22	-16.48	286.43	229.53	-19.87
Imp. Nal de Colombia	9	106.9	147.5	37.98	158.98	217	36.50	357.7	265.72	-25.71
Imp. Nal de Colombia	10	132.94	94.57	-28.86	191.85	245	27.70	253.01	297	17.39
Imp. Nal de Colombia	11	183.65	155.82	-15.15	275.47	268.45	-2.55	353.59	370.02	4.65
Imp. Nal de Colombia	12	161.17	200.34	24.30	200.78	221.97	10.55	281.3	271.25	-3.57
Imp. Nal de Colombia	13	123.62	130.76	5.78	205.58	221.2	7.60	270.76	300.51	10.99
Almenares	14	153.49	161.63	5.30	230.24	228.15	-0.91	306.7	314.44	2.52
Secretaría de Salud	15	146.64	145	-1.12	223.55	198	-11.43	294.66	296	0.45
Secretaría de Salud	16	111.32	116	4.20	196.45	166	-15.50	202.39	234	15.62
Secretaría de Salud	17	156.3	122	-21.94	213.04	207	-2.84	281.3	275	-2.24
Secretaría de Salud	18	132.6	130	-1.96	189.68	204	7.55	256.28	256	-0.11
Secretaría de Salud	19	128.83	162	25.75	164.6	193	17.25	212.66	281	32.14
Secretaría de Salud	20	127.86	146	14.19	224.76	206	-8.35	289.58	252	-12.98
Secretaría de Salud	21	143.4	153	6.69	191.74	200	4.31	261.77	251	-4.11
Secretaría de Salud	22	141.4	173	22.35	209	230	10.05	294.66	353	19.80
Secretaría de Salud	23	122.93	120	-2.38	170.43	179	5.03	247.38	256	3.48
Secretaría de Salud	24	108.95	132	21.16	163.49	167	2.15	227.5	233	2.42
Secretaría de Salud	25	134.31	136	1.26	205.85	211	2.50	286.43	271	-5.39
Secretaría de Salud	26	138.3	146.2	5.71	191.87	175	-8.79	228.34	286	25.25
Secretaría de Salud	27	118.69	122.3	3.04	201	198.9	-1.04	289.5	302	4.32
Secretaría de Salud	28	140.33	156.2	11.31	195	232	18.97	304.5	327.6	7.59
Secretaría de Salud	29	136.42	116.5	-14.60	206	189	-8.25	279.5	255.6	-8.55
Secretaría de Salud	30	124.69	161.4	29.44	192	206.3	7.45	245.5	309.6	26.11
PROMEDIO		135.31	139.92	4.13	198.91	206.23	4.31	276.12	282.49	3.25
DESV. ESTANDAR.		19.31	27.86	18.54	26.32	36.19	17.59	37.00	41.64	15.27

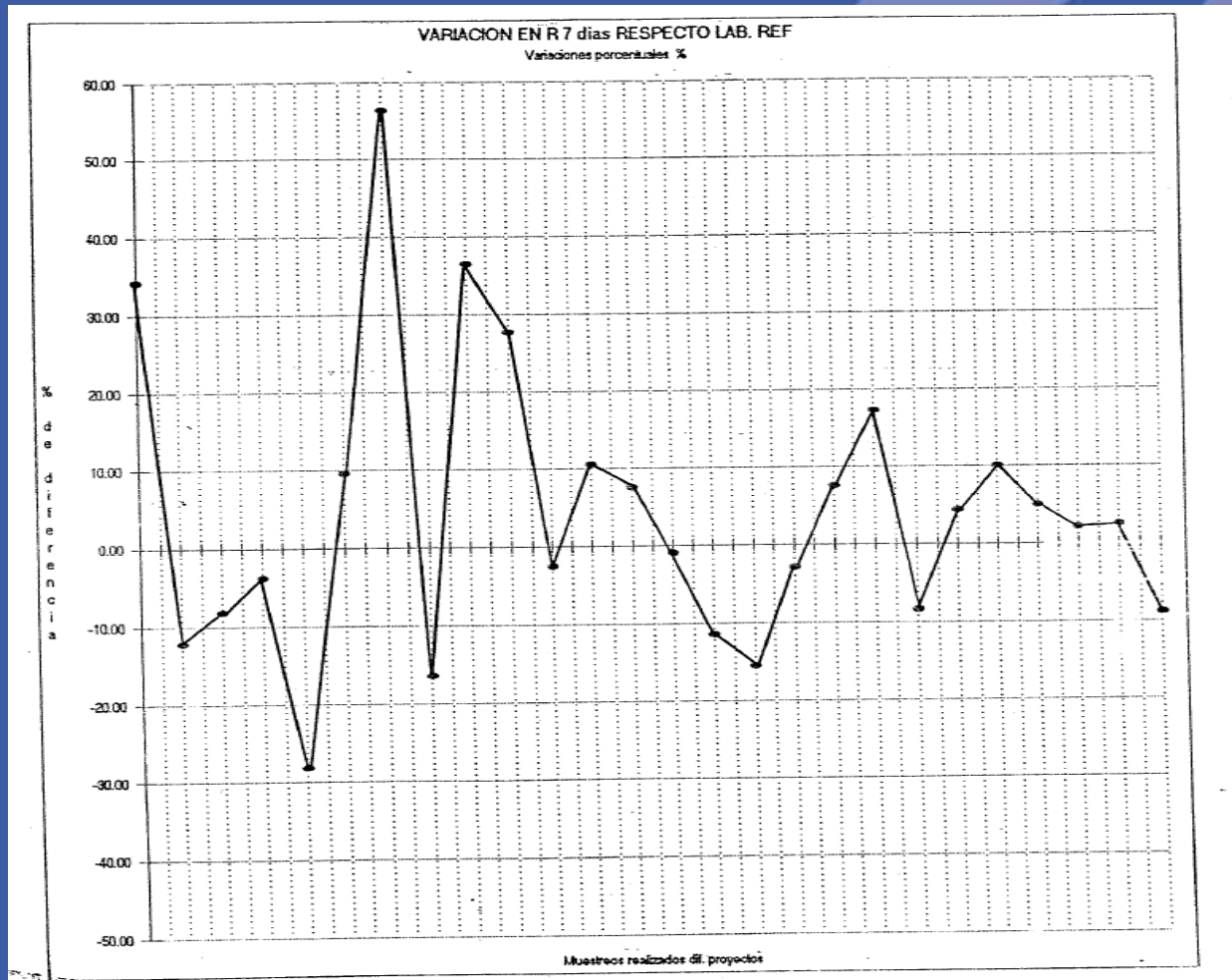


Variación porcentual en la resistencia del concreto evaluada en cilindros (Reproducibilidad)

OBRA	VOL. CONCRETO	No. Aprox. muestras	Toma No.	Diferencia % en R3 días	Diferencia % en R7 días	Diferencia % en R28 días
Parque Central Salitre	2500	300	1	33.1	34.2	17.46
Parque Central Salitre	2500	300	2	-17.05	-12.16	-18.84
Hotel Holiday Inn	1200	100	3	-0.64	-8.14	3.23
Serranilla	2500	300	4	-14.05	-3.84	-4.21
Almenares	4000	350	5	-35.64	-28.11	-22.02
Serranilla	2500	300	6	28.77	9.64	-0.21
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	7	1.5	56.39	31.81
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	8	-4.5	-16.4	-19.87
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	9	37.98	36.5	-25.71
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	10	-28.86	27.7	17.39
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	11	-15.15	-2.55	4.65
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	12	24.3	10.55	-3.57
Imprenta Nal. Colombia	10000	700	13	5.78	7.6	10.99
Almenares	4000	350	14	5.3	-0.91	2.52
Secretaría de Salud	20000	900	15	-1.12	-11.43	0.45
Secretaría de Salud	20000	900	16	4.2	-15.5	15.62
Secretaría de Salud	20000	900	17	-21.94	-2.84	-2.24
Secretaría de Salud	20000	900	18	-1.96	7.55	-0.11
Secretaría de Salud	20000	900	19	25.75	17.25	32.14
Secretaría de Salud	20000	900	20	14.19	-8.35	-12.98
Secretaría de Salud	20000	900	21	6.69	4.31	-4.11
Secretaría de Salud	20000	900	22	22.35	10.05	19.8
Secretaría de Salud	20000	900	23	-2.38	5.03	3.49
Secretaría de Salud	20000	900	24	21.16	2.15	2.42
Secretaría de Salud	20000	900	25	1.26	2.5	-5.39
Secretaría de Salud	20000	900	26	5.71	-8.79	25.25
Secretaría de Salud	20000	900	27	3.04	-1.04	4.32
Secretaría de Salud	20000	900	28	11.31	18.97	7.59
Secretaría de Salud	20000	900	29	-14.6	-8.25	-8.55
Secretaría de Salud	20000	900	30	29.53	7.45	26.06
PROMEDIO				4.134	4.318	3.246

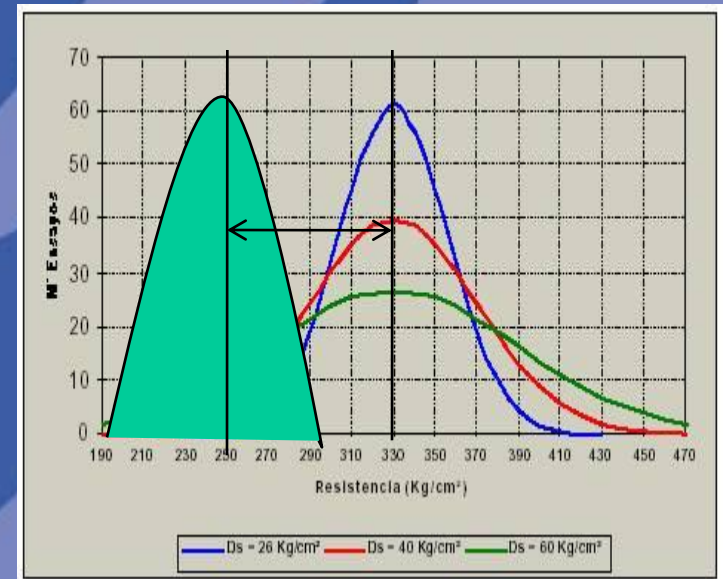


Variabilidad de la resistencia evaluada en cilindros (Falta de Reproducibilidad)



Variables en el ensayo de compresión del concreto, efecto

VARIABLES QUE AFECTAN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO.		
ASPECTO ESPECIFICO	CAUSA DE LA VARIACION	EFFECTO POTENCIAL
1 Procedimientos inadecuados de muestreo	1 Segregación	BAJA
	2 Exudación	BAJA
	3 Adición de agua	BAJA
	4 Adición de aditivo	SUBE
	5 Sitio inadecuado de muestreo	BAJA
	6 Compactación anormal de cilindros	BAJA O SUBE
	7 Confección inadecuada cilindro	BAJA O SUBE
	8 Remezclado del concreto en el camion antes de la toma de muestra	BAJA O SUBE
2 Variaciones debidas a las técnicas de elaboración de muestras	9 Material del molde	BAJA
	10 Demora en la toma de muestra	BAJA
	11 Porción de toma respecto al camión	BAJA O SUBE
	12 Remezclado manual del concreto antes de confeccionar los cilindros	SUBE
Manejo y curado de cilindros recién elaborados	13 Golpes a probetas recién elaboradas	BAJA
	14 Exposición de moldes recién fundidos a la intemperie	BAJA O SUBE
	15 Temperatura inicial de los cilindros de concreto dentro de los moldes	BAJA O SUBE
	16 Demora en desencofrar los cilindros	BAJA
Moldes de calidad deficiente	17 Relación altura - diametro del cilindro	BAJA O SUBE
	18 Cilindros no verticales	BAJA
	19 Cilindros de la misma muestra con diferentes diametros	BAJA O SUBE
	20 Cilindro con valores de diametro medidos diferentes	BAJA O SUBE
3 Cambios en el curado de las probetas		
	Variación de Temperatura	
	22 Temperatura de curado en obra	BAJA O SUBE
	23 Temperatura inicial de los cilindros de concreto (primeras 24 horas)	BAJA O SUBE
	24 Cambios de temperatura antes de falla	BAJA O SUBE
	Humedad variable	
	25 Humedad curado en la obra	BAJA O SUBE
	26 Humedad inicial cilindros en molde	BAJA O SUBE
Retraso en la entrega de las probetas	27 Cambios de humedad antes de falla	BAJA O SUBE
	28 Edad exacta de falla	BAJA O SUBE
4 Procedimientos de ensayo deficientes		
	29 Tipo de refrentado	BAJA O SUBE
	30 Velocidad de carga	BAJA O SUBE
	31 Tipo de falla presentada	BAJA O SUBE
	32 Densidad del cilindro	BAJA O SUBE
	33 Dirección de carga en el cilindro	BAJA
	34 Lectura del dial con baja exactitud	BAJA O SUBE



$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

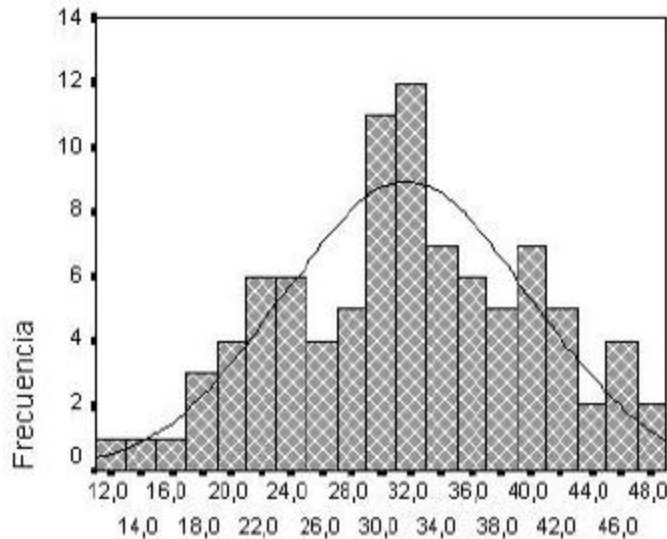


Tipo de falla en el ensayo de cilindros a compresión del concreto





Consideraciones y afectación en los análisis estadísticos NTC 2275



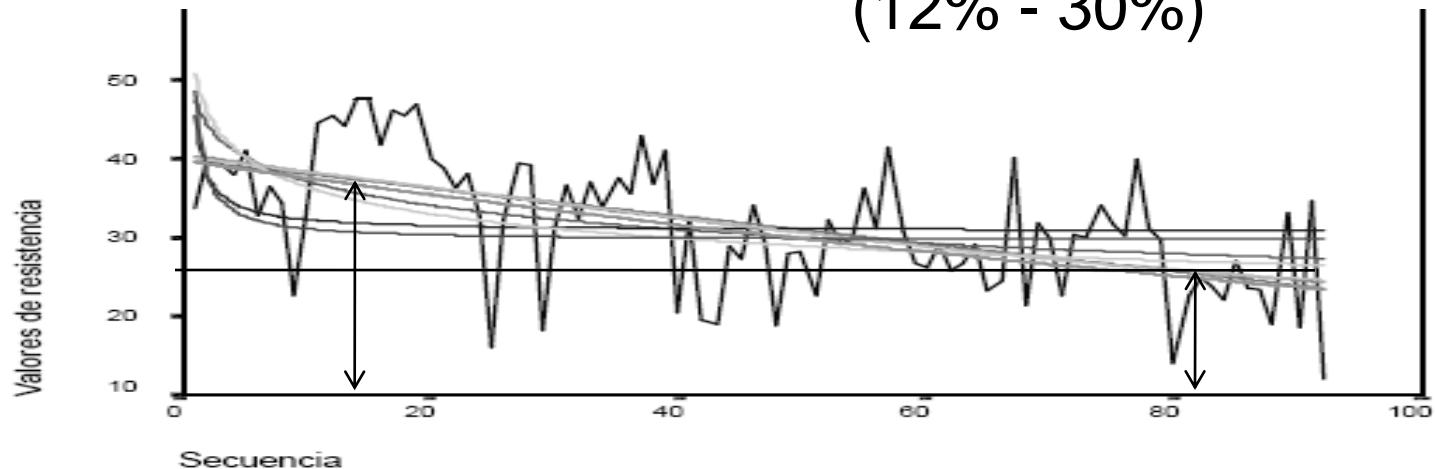
Estadísticas

Datos 9199

N	92
Media	31,6255
Mediana	31,8240
Moda	32,40
Desviación est.	8,2209
Varianza	67,5831
Asimetría	-,077
Error est. de asim.	,251
Rango	35,74

$$CV = 23\% = \sigma/R$$

(12% - 30%)





IMPLICACIONES DE LA FALTA DE REPRODUCIBILIDAD

- Alta Variabilidad $V(\%)$ en promedio 25% (hasta de un 50%)!!
- Toma de decisiones acertada en obra?
- Laboratorios con baja reproducibilidad
- La Normativa actual cubre esta situación?
- Influencia de la falta de reproducibilidad en el desempeño de las estructuras de concreto
- Regulacion oficial de la falta de reproducibilidad (NIST-USA)